

1/5/2

Derwent WPI

(c) 2006 The Thomson Corp. All rights reserved.

013378940 \*\*Image available\*\*

WPI Acc No: 2000-550878/200051

XRPX Acc No: N00-407554

**Apparatus for measuring of a network communication  
performance using probing packets to estimate the available bandwidth  
of  
the network paths**

Patent Assignee: FUJITSU LTD (FUIT )

Inventor: KIKUCHI S; OAKI T; OKANO T; AOKI T

Number of Countries: 027 Number of Patents: 006

Patent Family:

Patent No Kind Date Applicat No Kind Date Week

EP 1026855 A2 20000809 EP 99308228 A 19991019 200051 B

JP 2000224172 A 20000811 JP 9927323 A 19990204 200053

US 6614763 B1 20030902 US 99420557 A 19991019 200359

JP 3587352 B2 20041110 JP 9927323 A 19990204 200474

EP 1026855 B1 20050914 EP 99308228 A 19991019 200560

DE 69927237 E 20051020 DE 99627237 A 19991019 200571

EP 99308228 A 19991019

Priority Applications (No Type Date): JP 9927323 A 19990204

Patent Details:

Patent No Kind Lan Pg Main IPC Filing Notes

EP 1026855 A2 E 40 H04L-012/26

Designated States (Regional): AL AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE  
IT

LI LT LU LV MC MK NL PT RO SE SI

JP 2000224172 A 22 H04L-012/26

US 6614763 B1 H04J-003/14

JP 3587352 B2 30 H04L-012/26 Previous Publ. patent JP 2000224172

EP 1026855 B1 E H04L-012/26

Designated States (Regional): DE FR GB

DE 69927237 E H04L-012/26 Based on patent EP 1026855

Abstract (Basic): EP 1026855 A2

NOVELTY - The terminal ends of a path (14) are provided with communication apparatuses (10,12) with routers (12) between them and, when this path is to be measured, a network performance measuring apparatus is constituted of a measurement packet sending unit (16) in apparatus (10), a packet reception unit (18) in the communication apparatus (20) and a performance judgment unit (22) in the communication apparatus, which is placed at any site on the common network.

DETAILED DESCRIPTION - INDEPENDENT CLAIMS are included for a method of measuring network communication performance and for a computer-readable medium with a measurement program.

USE - Measurement of performance of a network communication

network.

DESCRIPTION OF DRAWING(S) - The drawing is an explanatory diagram of a first embodiment of the present invention

Path (14)

Communication apparatus (10,12)

Routers (12)

Measurement packet sending unit (16)

Packet reception unit (18)

Communication apparatus (20)

Performance judgment unit (22)

pp; 40 DwgNo 1/16

Title Terms: APPARATUS; MEASURE; NETWORK; COMMUNICATE; PERFORMANCE;  
PROBE;

PACKET; ESTIMATE; AVAILABLE; BANDWIDTH; NETWORK; PATH

Derwent Class: W01

International Patent Class (Main): H04J-003/14; H04L-012/26

International Patent Class (Additional): H04B-017/00; H04L-012/56;

H04L-029/14; H04M-003/26; H04M-003/36

File Segment: EPI

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-224172

(P2000-224172A)

(43) 公開日 平成12年8月11日 (2000.8.11)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テーマコード* (参考)
H 0 4 L 12/26		H 0 4 L 11/12	
H 0 4 B 17/00		H 0 4 B 17/00	M
H 0 4 L 12/56		H 0 4 M 3/26	G
29/14		3/36	A
H 0 4 M 3/26		H 0 4 L 11/20	1 0 2 Z

審査請求 未請求 請求項の数27 O L (全 22 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願平11-27323

(22) 出願日 平成11年2月4日 (1999.2.4)

(71) 出願人 000005223

富士通株式会社

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号

(72) 発明者 菊池 慎司

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内

(72) 発明者 青木 武司

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内

(74) 代理人 100079359

弁理士 竹内 進 (外1名)

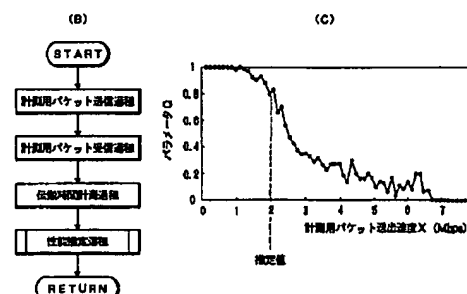
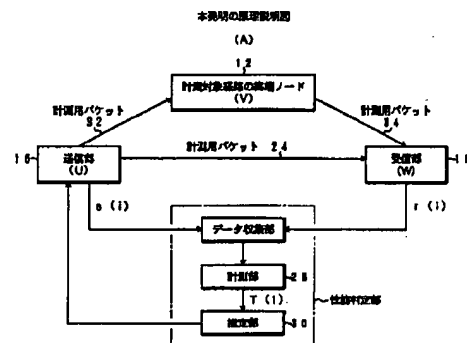
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ネットワーク通信性能測定方法及び装置並びにネットワーク通信性能測定プログラムを格納したコンピュータ読取り可能な記録媒体

(57) 【要約】

【課題】 少数個の計測用バケットをネットワークで送受信し、トラフィックによる外乱の影響を受けずに利用可能帯域幅を正確に推定する

【解決手段】 送信部16から計測用バケットをネットワーク経路14に等間隔に送出し、この計測用バケットを受信部18が受信してバケット伝搬時間を計測し、隣接するバケット間のバケット伝搬時間の間の相関関係を表わすパラメータQからネットワーク経路の利用可能帯域幅を推定する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】計測用パケットをネットワーク経路に等間隔に送出する送出過程と、

前記計測用パケットを受信する受信過程と、

前記送出過程により前記計測用パケットの送出を開始してから前記受信過程により計測用パケットの受信を完了するまでの伝搬時間を計測する計測過程と、

前記計測過程で計測した計測用パケットの伝搬時間の間の相関関係から、ネットワーク経路の利用可能帯域幅を推定する推定過程と、を備えたことを特徴とするネットワーク通信性能測定方法。

【請求項2】請求項1記載のネットワーク通信性能測定方法に於いて、前記推定過程は、前記計測用パケットの伝搬時間の間の相関関係から、計測用パケットの送出速度と経路の利用可能帯域幅の大小関係を推定することを特徴とするネットワーク通信性能測定方法。

【請求項3】請求項2記載のネットワーク通信性能測定方法に於いて、前記推定過程は、計測用パケットの伝搬時間がランダムな挙動を示している割合を判断し、その割合が大きいく、計測用パケットが受けているキューイングの影響が小さいと考えられる場合、計測用パケットの送出速度は経路の利用可能帯域幅よりも小さいと判断することで、計測用パケット経路の利用可能帯域幅の大小関係を推定することを特徴とするネットワーク通信性能測定方法。

【請求項4】請求項3記載のネットワーク通信性能測定方法に於いて、前記推定過程は、計測用パケットのサイズを  $P$  (bit)、計測用パケットの送出間隔を  $\delta$  (sec)、計測対象経路のボトルネックリンク速度を  $\mu$  (bps)、定数  $\alpha$  を  $0.001 \sim 0.0000001$  程度の値、隣合う計測用パケットの伝搬時間の差  $\Delta T(i)$  を  $(i+1)$  番目の計測用パケットの伝搬時間)  $-(i)$  番目の計測用パケットの伝搬時間) とするときに、

$$(P/\mu - \delta + \alpha) < \Delta T(i) < (P/\mu - \delta)$$

となる割合  $Q$  を調査し、その割合  $Q$  が大きい場合、計測用パケットが受けているキューイングの影響が小さいと考え、計測用パケットの送出速度は経路の利用可能帯域幅よりも小さいと判断することで、計測用パケットと経路の利用可能帯域幅の大小を推定することを特徴とするネットワーク通信性能測定方法。

【請求項5】ネットワーク内の1個または複数個の決められたノードを通過して所定の受信点に到達するように設定された計測用パケットをネットワーク経路に等間隔に送出する送出過程と、

前記所定の受信点で計測用パケットを受信する受信過程と、

前記送出過程により計測用パケットの送出を開始してから前記受信過程により計測用パケットの受信を完了するまでの伝搬時間を計測する計測過程と、

前記計測過程で計測した前記計測用パケットの伝搬時間

の間の相関関係から、計測用パケットの送出速度と経路の利用可能帯域幅の大小関係を推定する推定過程と、を備えたことを特徴とするネットワーク通信性能測定方法。

【請求項6】請求項5記載のネットワーク通信性能測定方法に於いて、前記推定過程は、前記計測用パケットの伝搬時間がランダムな挙動を示している割合を判断し、その割合が大きいく、計測用パケットが受けているキューイングの影響が小さいと考えられる場合、計測用パケットの送出速度は経路の利用可能帯域幅よりも小さいと判断することで、計測用パケットと経路の利用可能帯域幅の大小関係を推定することを特徴とするネットワーク通信性能測定方法。

【請求項7】請求項6記載のネットワーク通信性能測定方法に於いて、前記推定過程は、計測用パケットのサイズを  $P$  (bit)、計測用パケットの送出間隔を  $\delta$  (sec)、計測対象経路のボトルネックリンク速度を  $\mu$  (bps)、定数  $\alpha$  を  $0.001 \sim 0.0000001$  程度の値、隣合う計測用パケットの伝搬時間の差  $\Delta T(i)$  を  $(i+1)$  番目の計測用パケットの伝搬時間)  $-(i)$  番目の計測用パケットの伝搬時間) とするときに、

$$(P/\mu - \delta + \alpha) < \Delta T(i) < (P/\mu - \delta)$$

となる割合  $Q$  を調査し、その割合  $Q$  が大きい場合、計測用パケットが受けているキューイングの影響が小さいと考え、計測用パケットの送出速度は経路の利用可能帯域幅よりも小さいと判断することで、計測用パケットと経路の利用可能帯域幅の大小を推定することを特徴とするネットワーク通信性能測定方法。

【請求項8】計測用パケットをネットワーク経路に等間隔に送出する送出過程と、

前記送出過程で計測用パケットを送出するネットワーク上の同じ場所、もしくはネットワーク上で近い場所で前記計測用パケットを受信する受信過程と、

前記計測用パケットがユーザが決めたネットワーク内の特定ノードまでの経路を往復するのにかかる伝搬時間を計測する計測過程と、

前記計測過程で計測した計測用パケットの伝搬時間の間の相関関係から、計測用パケットの送出速度と経路の往復での利用可能帯域幅の大小関係を推定する推定過程と、を備えたことを特徴とするネットワーク通信性能測定方法。

【請求項9】請求項8記載のネットワーク通信性能測定方法に於いて、前記推定過程は、計測用パケットのサイズを  $P$  (bit)、計測用パケットの送出間隔を  $\delta$  (sec)、計測対象経路のボトルネックリンク速度を  $\mu$  (bps)、定数  $\alpha$  を  $0.001 \sim 0.0000001$  程度の値、隣合う計測用パケットの伝搬時間の差  $\Delta T(i)$  を  $(i+1)$  番目の計測用パケットの伝搬時間)  $-(i)$  番目の計測用パケットの伝搬時間) とするときに、

$$(P/\mu - \delta + \alpha) < \Delta T(i) < (P - \delta)$$

となる割合Qを調査し、その割合Qが大きい場合、計測用パケットが受けているキューイングの影響が小さいと考え、計測用パケットの送出速度は経路の利用可能帯域幅よりも小さいと判断することで、計測用パケットと経路往復での利用可能帯域幅の大小を推定することとを特徴とするネットワーク通信性能測定方法。

【請求項10】請求項1乃至9のいずれかに記載のネットワーク通信性能測定方法に於いて、初期設定した転送速度X(bps)を二分法、はさみうち法、単調増加法又は単調減少法により変化させながら、前記送出過程、受信過程、計測過程及び推定過程を繰り返し実行してネットワーク経路の利用可能帯域幅が前記転送速度X(bps)を超えているかどうかを調べることにより、経路の利用可能帯域幅を推定することとを特徴とするネットワーク通信性能測定方法。

【請求項11】請求項10記載のネットワーク通信性能測定方法に於いて、更に、前記送出過程、受信過程、測定過程及び推定過程の実行により、ネットワーク経路の第1利用可能帯域幅を推定する第1推定過程と、

前記送出過程、受信過程、測定過程及び推定過程の実行により、往路と復路で異なる大きさのパケットが流れるようにしてネットワーク経路の第2利用可能帯域幅を推定する第2推定過程と、

前記第1及び第2推定過程で推定した第1及び第2利用可能帯域幅を比較してネットワーク経路内のリンクの状態を判断し、ネットワーク経路の片方向での利用可能帯域を推定する第3推定過程と、を備えたことを特徴とするネットワーク通信性能測定方法。

【請求項12】請求項11記載のネットワーク通信性能測定方法に於いて、前記第3推定過程は、ネットワークの経路内に半二重リンクが存在し、該半二重リンクがボトルネックになっているかどうかを判断し、

a) 経路内に半二重リンクが存在してボトルネックになっている、

b) 経路内に半二重リンクが存在しているがボトルネックになっていない、若しくは

c) 経路内に半二重リンクが存在しない、の何れかを判断した場合につき、半二重リンクの片方向での利用可能帯域を推定することとを特徴とするネットワーク通信性能測定方法。

【請求項13】請求項11記載のネットワーク通信性能測定方法に於いて、前記第3推定過程は、計測用パケットのサイズP(bit)を4993(bit)以上として推定された第1利用可能帯域幅B1と第2利用可能帯域幅B2の比が実質的に

$$B1/B2 = (P + 4992) / 2P$$

であれば、ネットワークの経路内に半二重リンクが存在し、該半二重リンクがボトルネックになっていると判断して前記第1利用可能帯域幅B1の2倍の2B1が経路

の片方向での利用可能帯域幅であると判断し、

$$B1/B2 \neq (P + 4992) / 2P$$

であれば、ネットワークの経路内に半二重リンクが存在するがボトルネックになっていない、若しくはネットワークの経路内に半二重リンクは存在しないと判断して前記第1利用可能帯域幅B1が経路の片方向での利用可能帯域幅であると判断することとを特徴とするネットワーク通信性能測定方法。

【請求項14】計測用パケットをネットワーク経路に等間隔に送出する送出部と、

前記送出部で送出した前記計測用パケットを受信する受信部と、

前記送出部により前記計測用パケットの送出を開始してから前記受信部により計測用パケットの受信を完了するまでの伝搬時間を計測する計測部と、

前記計測部で計測した前記計測用パケットの伝搬時間の間の相関関係から、ネットワーク経路の利用可能帯域幅を推定する推定部と、を備えたことを特徴とするネットワーク通信性能測定装置。

【請求項15】ネットワーク内の1個または複数個の決められたノードを通過して所定の受信点に到達するように設定された計測用パケットをネットワーク経路に等間隔に送出する送出部と、

前記所定の受信点に配置され、前記送出部で送出した計測用パケットを受信する受信部と、

前記送出部により計測用パケットの送出を開始してから前記受信部により計測用パケットの受信を完了するまでの伝搬時間を計測する計測部と、

前記計測部で計測した隣合う前記計測用パケットの伝搬時間の間の相関関係から、計測用パケットの送出速度と経路の利用可能帯域幅の大小関係を推定する推定部と、を備えたことを特徴とするネットワーク通信性能測定装置。

【請求項16】計測用パケットをネットワーク経路に等間隔に送出する送出部と、

前記送出部のネットワーク上での同じ場所、もしくはネットワーク上で近い場所に配置され、前記送出部で送出した計測用パケットを受信する受信部と、

前記計測用パケットがユーザが決めたネットワーク内の特定ノードまでの経路を往復するのにかかる伝搬時間を計測する計測部と、

前記計測部で計測した計測用パケットの伝搬時間の間の相関関係から、計測用パケットの送出速度と経路の往復での利用可能帯域幅の大小関係を推定する推定部と、を備えたことを特徴とするネットワーク通信性能測定装置。

【請求項17】請求項14乃至16のいずれかに記載のネットワーク通信性能測定装置に於いて、初期設定した転送速度X(bps)を二分法、はさみうち法、単調増加法又は単調減少法により変化させながら、前記送出部、受

信部、計測部及び推定部の処理をし実行してネットワーク経路の利用可能帯域幅が前記転送速度X (bps) を超えているかどうかを調べることで、経路の利用可能帯域幅を推定することを特徴とするネットワーク通信性能測定装置。

【請求項18】請求項17記載のネットワーク通信性能測定装置に於いて、更に、

前記送出部、受信部、測定部及び推定部の処理の実行により、ネットワーク経路の第1利用可能帯域幅B1を推定する第1推定部と、

前記送出部、受信部、測定部及び推定部の処理の実行により、往路と復路で異なる大きさのケットが流れるようにしてネットワーク経路の第2利用可能帯域幅B2を推定する第2推定部と、

前記第1及び第2推定部で推定した第1及び第2利用可能帯域幅B1、B2を比較してネットワーク経路内のリンクの状態を判断し、ネットワーク経路の片方向での利用可能帯域を推定する第3推定部と、を備えたことを特徴とするネットワーク通信性能測定装置。

【請求項19】請求項18記載のネットワーク通信性能測定装置に於いて、前記第3推定過程は、ネットワークの経路内に半二重リンクが存在し、該半二重リンクがボトルネックになっているかどうかを判断し、

a) 経路内に半二重リンクが存在してボトルネックになっている、

b) 経路内に半二重リンクが存在しているがボトルネックになっていない、若しくは

c) 経路内に半二重リンクが存在しない、の何れかを判断した場合につき、半二重リンクの片方向での利用可能帯域を推定することを特徴とするネットワーク通信性能測定装置。

【請求項20】請求項19記載のネットワーク通信性能測定装置に於いて、前記第3推定部は、計測用ケットのサイズP (bit) を4993 (bit) 以上として推定された第1利用可能帯域幅B1と第2利用可能帯域幅B2の比が実質的に

$$B1/B2 = (P + 4992) / 2P$$

であれば、ネットワークの経路内に半二重リンクが存在し、該半二重リンクがボトルネックになっていると判断して前記第1利用可能帯域幅B1の2倍の2B1が経路の片方向での利用可能帯域幅であると判断し、

$$B1/B2 \neq (P + 4992) / 2P$$

であれば、ネットワークの経路内に半二重リンクが存在するがボトルネックになっていないと判断して前記第1利用可能帯域幅B1が経路の片方向での利用可能帯域幅であると判断することを特徴とするネットワーク通信性能測定装置。

【請求項21】計測用ケットをネットワーク経路に等間隔に送出する送出部と、

前記送出部で送出した前記計測用ケットを受信する受

信部と、

前記送出部により前記計測用ケットの送出を開始してから前記受信部により計測用ケットの受信を完了するまでの伝搬時間を計測する計測部と、

前記計測部で計測した前記計測用ケットの伝搬時間の間の相関関係から、ネットワーク経路の利用可能帯域幅を推定する推定部と、を備えたネットワーク通信性能測定プログラムを格納したコンピュータ読取り可能な記録媒体。

10 【請求項22】ネットワーク内の1個または複数個の決められたノードを通過して所定の受信点に到達するように設定された計測用ケットをネットワーク経路に等間隔に送出する送出部と、

前記所定の受信点に配置され、前記送出部で送出した計測用ケットを受信する受信部と、

前記送出部により計測用ケットの出力を開始してから前記受信部により計測用ケットの受信を完了するまでの伝搬時間を計測する計測部と、

前記計測部で計測した場合の前記計測用ケットの伝搬時間の間の相関関係から、計測用ケットの送出速度と経路の利用可能帯域幅の大小関係を推定する推定部と、を備えたネットワーク通信性能測定プログラムを格納したコンピュータ読取り可能な記録媒体。

【請求項23】計測用ケットをネットワーク経路に等間隔に送出する送出部と、

前記送出部のネットワーク上での同じ場所、もしくはネットワーク上で近い場所に配置され、前記送出部で送出した計測用ケットを受信する受信部と、

前記計測用ケットがユーザが決めたネットワーク内の特定ノードまでの経路を往復するのにかかる伝搬時間を計測する計測部と、

前記計測部で計測した場合の前記計測用ケットの伝搬時間の間の相関関係から、計測用ケットの送出速度と経路の往復での利用可能帯域幅の大小関係を推定する推定部と、を備えたネットワーク通信性能測定プログラムを格納したコンピュータ読取り可能な記録媒体。

【請求項24】請求項21乃至23のいずれかに記載の記録媒体に於いて、前記ネットワーク通信性能測定プログラムは、初期設定した転送速度X (bps) を二分法、はさみうち法、単調増加法又は単調減少法により変化させながら、前記送出部、受信部、計測部及び推定部の処理を実行してネットワーク経路の利用可能帯域幅が前記転送速度X (bps) を超えているかどうかを調べることで、経路の利用可能帯域幅を推定することを特徴とする記録媒体。

【請求項25】請求項24記載の記録媒体に於いて、前記ネットワーク通信性能測定プログラムは、更に、

前記送出部、受信部、測定部及び推定部の処理の実行により、ネットワーク経路の第1利用可能帯域幅B1を推定する第1推定部と、

前記送出部、受信部、測定部及び推定部の処理の実行により、往路と復路で異なる大きさのバケットが流れるようにしてネットワーク経路の第2利用可能帯域幅B2を推定する第2推定部と、

前記第1及び第2推定部で推定した第1及び第2利用可能帯域幅B1、B2を比較してネットワーク経路内のリンクの状態を判断し、ネットワーク経路の片方向での利用可能帯域を推定する第3推定部と、を備えたことを特徴とする記録媒体。

【請求項26】請求項25記載の記録媒体に於いて、前記第3推定部は、ネットワークの経路内に半二重リンクが存在し、該半二重リンクがボトルネックになっているかどうかを判断し、

a) 経路内に半二重リンクが存在してボトルネックになっている、

b) 経路内に半二重リンクが存在しているがボトルネックになっていない、若しくは

c) 経路内に半二重リンクが存在しない、の何れかを判断した場合につき、半二重リンクの片方向での利用可能帯域を推定することを特徴とする記録媒体。

【請求項27】請求項26記載の記録媒体に於いて、前記第3推定部は、計測用バケットのサイズP(bit)を4993(bit)以上として推定された第1利用可能帯域幅B1と第2利用可能帯域幅B2の比が実質的に

$$B1/B2 = (P + 4992) / 2P$$

であれば、ネットワークの経路内に半二重リンクが存在し、該半二重リンクがボトルネックになっていると判断して前記第1利用可能帯域幅B1の2倍の2B1が経路の片方向での利用可能帯域幅であると判断し、

$$B1/B2 \neq (P + 4992) / 2P$$

であれば、ネットワークの経路内に半二重リンクが存在するがボトルネックになっていない、若しくはネットワークの経路内に半二重リンクは存在しないと判断して前記第1利用可能帯域幅B1が経路の片方向での利用可能帯域幅であると判断することを特徴とする記録媒体。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、計測用バケットを使用してネットワーク経路の利用可能帯域幅を推定するネットワーク通信性能測定方法及び装置並びにネットワーク通信性能測定プログラムを格納したコンピュータ読取り可能な記録媒体に関し、特に、少量の計測用バケットで経路の利用可能帯域幅を正確に推定するネットワーク通信性能測定方法及び装置並びにネットワーク通信性能測定プログラムを格納したコンピュータ読取り可能な記録媒体に関する。

【0002】

【従来の技術】インターネット等の通信ネットワークシステムにおいて、広域負荷分散や、品質制御などの高度なサービスを提供する場合、ネットワーク経路の利用可

能帯域幅を計測し、どれだけの性能をユーザに提供できるかを把握することは非常に重要である。この利用可能帯域幅は、通信装置の処理性能、通信路（経路）上のルータの処理能力、回線の容量、及び他ユーザによるトラフィック量に依存して大きく異なる。

【0003】従来のネットワーク性能計測方法としては、例えば10000個といった多数の計測用バケットを送受信して利用可能帯域を実測する手法や、計測用バケットの遅延の値を直接用いて経路性能の推測を行う手法がある。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、このような従来の多数個の計測用バケットを送受信して利用可能帯域を実測する方法では、ネットワークに過剰な負荷をかけることを免れない。また、計測用バケットの遅延の計測値を直接用いて利用可能帯域を推測する方法は、他のトラフィックによる外乱の影響が強く、測定誤差が大きくなる問題があった。

【0005】本発明の目的は、少数個の計測用バケットをネットワークで送受信し、トラフィックによる外乱の影響を受けずに利用可能帯域幅を正確に推定するネットワーク通信性能測定方法及び装置並びにネットワーク通信性能測定プログラムを格納したコンピュータ読取り可能な記録媒体を提供することを目的とする。

【0006】

【課題を解決するための手段】図1は本発明の原理説明図である。

【0007】図1'Aのネットワーク構成につき、本発明のネットワーク通信性能測定方法は、図1(B)のよう

に次の過程を備える。  
【0008】送信部16により計測用バケット24をネットワーク経路に等間隔に送出する送出過程；受信部18により計測用バケット24を受信する受信過程；送出過程により計測用バケット24の送出を開始してから受信過程で計測用バケット24の受信を完了するまでの伝搬時間T(i)を時間計測部28で計測する計測過程；計測過程で計測した計測用バケットの伝搬時間T(i)の差の相関関係から、性能推定部30によりネットワーク経路の利用可能帯域幅を推定する推定過程；尚、受信過程及び計測過程は、送出過程に続いて行われるが、送出過程による複数の計測用バケットの送信中に同時に処理が行われる場合もある。

【0009】このような本発明のネットワーク通信性能測定方法によれば、複数の計測用バケットの伝搬時間の間の相関関係を観察することで、ネットワークの利用可能帯域幅を推定することができ、これにより例えば100～200個程度の少量の計測用バケットで利用可能帯域幅を推定でき、他のトラフィックによる外乱の影響が少ないため正確に推定できる。

【0010】推定過程は、計測用バケットの伝搬時間が

ランダムな挙動を示している割合を判断し、その割合が大きく、計測用パケットが受けているキューイングの影響が小さいと考えられる場合、計測用パケットの送出速度は経路の利用可能帯域幅よりも小さいと判断することで、計測用パケット経路の利用可能帯域幅の大小関係を推定する。

【0011】推定過程は、計測用パケットのサイズをP (bit)、計測用パケットの送出間隔を $\delta$  (sec)、計測対象経路のボトルネックリンク速度を $\mu$  (bps)、定数 $\alpha$ を0.001 ~ 0.0000001 程度の値、隣合う計測用パケットの伝搬時間の差 $\Delta T(i)$ を( $i+1$ 番目の計測用パケットの伝搬時間) - ( $i$ 番目の計測用パケットの伝搬時間) とするときに、

$$(P/\mu - \delta + \alpha) < \Delta T(i) < (P/\mu - \delta)$$

となる割合Qを調査し、例えば図18C)のように、割合Qが大きい場合、計測用パケットが受けているキューイングの影響が小さいと考え、計測用パケットの送出速度は経路の利用可能帯域幅よりも小さいと判断することで、計測用パケットと経路の利用可能帯域幅の大小を推定する。

【0012】本発明のネットワーク通信性能測定方法の変形にあっては次の過程を備える。

【0013】ネットワーク内の1個または複数個の決められたノードを通過して所定の受信点に到達するように設定された計測用パケットをネットワーク経路に等間隔に送出する送出過程；所定の受信点で計測用パケットを受信する受信過程；送出過程により計測用パケットの送出を開始してから受信過程により計測用パケットの受信を完了するまでの伝搬時間を計測する計測過程；計測過程で計測した計測用パケットの伝搬時間の間の相関関係から、計測用パケットの送出速度と経路の利用可能帯域幅の大小関係を推定する推定過程；この場合にも、推定過程は、計測用パケットの伝搬時間がランダムな挙動を示している割合を判断し、その割合が大きく、計測用パケットが受けているキューイングの影響が小さいと考えられる場合、計測用パケットの送出速度は経路の利用可能帯域幅よりも小さいと判断することで、計測用パケットと経路の利用可能帯域幅の大小関係を推定する。

【0014】また推定過程は、計測用パケットのサイズをP (bit)、計測用パケットの送出間隔を $\delta$  (sec)、計測対象経路のボトルネックリンク速度を $\mu$  (bps)、定数 $\alpha$ を0.001 ~ 0.0000001 程度の値、隣合う計測用パケットの伝搬時間の差 $\Delta T(i)$ を( $i+1$ 番目の計測用パケットの伝搬時間) - ( $i$ 番目の計測用パケットの伝搬時間) とするときに、

$$(P/\mu - \delta + \alpha) < \Delta T(i) < (P/\mu - \delta)$$

となる割合Qを調査し、例えば図1(C)のように、割合Qが大きい場合、計測用パケットが受けているキューイングの影響が小さいと考え、計測用パケットの送出速度は経路の利用可能帯域幅よりも小さいと判断すること

で、計測用パケットと経路の利用可能帯域幅の大小を推定する。

【0015】本発明のネットワーク通信性能測定方法の他の変形にあっては、図1(A)のように、次の過程を備える。

【0016】計測用パケット32をネットワーク経路に等間隔に送出する送出過程；前記送出過程で計測用パケット32を送出するネットワーク上の同じ場所、もしくはネットワーク上で近い場所で計測用パケット34を受信する受信過程；計測用パケット24がユーザが決めたネットワーク内の特定ノード12までの経路を往復するのにかかる伝搬時間を計測する計測過程；計測過程で計測した隣合う計測用パケットの伝搬時間の間の相関関係から、計測用パケットの送出速度と経路の往復での利用可能帯域幅の大小関係を推定する推定過程；ここで推定過程は、計測用パケットのサイズをP (bit)、計測用パケットの送出間隔を $\delta$  (sec)、計測対象経路のボトルネックリンク速度を $\mu$  (bps)、定数 $\alpha$ を0.001 ~ 0.0000001 程度の値、隣接する計測用パケットの伝搬時間の差 $\Delta T(i)$ を( $i+1$ 番目の計測用パケットの伝搬時間) - ( $i$ 番目の計測用パケットの伝搬時間) とするときに、

$$(P/\mu - \delta + \alpha) < \Delta T(i) < (P - \delta)$$

となる割合Qを調査し、例えば図1(C)のように、割合Qが大きい場合、計測用パケットが受けているキューイングの影響が小さいと考え、計測用パケットの送出速度は経路の利用可能帯域幅よりも小さいと判断することで、計測用パケットと経路往復での利用可能帯域幅の大小を推定する。

【0017】本発明のネットワーク通信性能測定方法は、更に初期設定した転送速度X (bps) を二分法、はさみうち法、単調増加法又は単調減少法により変化させながら、送出過程、受信過程、計測過程及び推定過程を繰り返し実行してネットワーク経路の利用可能帯域幅が転送速度X (bps) を超えているかどうかを調べることで、経路の利用可能帯域幅を推定する。

【0018】例えば二分法、はさみうち法を用いれば、数秒のオーダーで高速な利用可能帯域幅の計測が可能になる。

【0019】本発明のネットワーク通信性能測定方法は、ネットワーク上の特定ノードに対する往復経路の片方向の利用可能帯域幅を推定するため、更に、次の過程を備える。

【0020】送出過程、受信過程、測定過程及び推定過程の実行により、ネットワーク経路の第1利用可能帯域幅を推定する第1推定過程；送出過程、受信過程、測定過程及び推定過程の実行により、往路と復路で異なる大きさのパケットが流れるようにしてネットワーク経路の第2利用可能帯域幅を推定する第2推定過程；第1及び第2推定過程で推定した第1及び第2利用可能帯域幅を比較してネットワーク経路内のリンクの状態を判断し、



ネットワーク経路の片方向での利用可能帯域を推定する第3推定過程；この第3推定過程は、ネットワークの経路内に半二重リンクが存在し、この半二重リンクがボトルネックになっているかどうかを判断し、

a) 経路内に半二重リンクが存在してボトルネックになっている、

b) 経路内に半二重リンクが存在しているがボトルネックになっていない、若しくは

c) 経路内に半二重リンクが存在しない、の何れかを判断した場合につき、半二重リンクの片方向での利用可能帯域を推定する。

【0021】例えば第3推定過程は、計測用パケットのサイズP(bit)を4993(bit)以上として推定された第1利用可能帯域幅B1と第2利用可能帯域幅B2の比が実質的に

$$B1/B2 = (P + 4992) / 2P$$

であれば、ネットワークの経路内に半二重リンクが存在し、該半二重リンクがボトルネックになっていると判断して前記第1利用可能帯域幅B1の2倍2B1が経路の片方向での利用可能帯域幅であると判断する。また、

$$B1/B2 \neq (P + 4992) / 2P$$

であれば、ネットワークの経路内に半二重リンクが存在するがボトルネックになっていない、若しくはネットワークの経路内に半二重リンクは存在しないと判断して第1利用可能帯域幅B1が経路の片方向での利用可能帯域幅であると判断する。

【0022】本発明はまた、ネットワーク通信性能測定装置を提供する。このネットワーク通信性能測定装置は、図1(A)のように、計測用パケット24をネットワーク経路に等間隔に送出する送出部16と、送出部16により送出した計測用パケット24を受信する受信部18と、送出部16により計測用パケット24の送出を開始してから受信部18により計測用パケットの受信を完了するまでの伝搬時間を計測する計測部28と、計測部28で計測した計測用パケット24の伝搬時間の間の相関関係からネットワーク経路の利用可能帯域幅を推定する推定部30とを備える。

【0023】本発明のネットワーク通信性能測定装置の変形としては、ネットワーク内の1個または複数の決められたノードを通過して所定の受信点に到達するように設定された計測用パケット24をネットワーク経路に等間隔に送出する送出部16と、所定の受信点に配置され送出部16で送出した計測用パケット24を受信する受信部18と、送出部16により計測用パケットの送出を開始してから受信部18により計測用パケットの受信を完了するまでの伝搬時間を計測する計測部28と、計測部18で計測した計測用パケットの伝搬時間の間の相関関係から計測用パケットの送出速度と経路の利用可能帯域幅の大小関係を推定する推定部30とを備える。

【0024】本発明のネットワーク通信性能測定装置の

他の変形としては、ネットワーク上の特定ノードに対する往復経路の片方向の利用可能帯域幅を推定するため、計測用パケット32をネットワーク経路に等間隔に送出する送出部16と、送出部16のネットワーク上での同じ場所もしくはネットワーク上で近い場所に配置され送出部16で送出した計測用パケットを受信する受信部18と、計測用パケット32、34がユーザが決めたネットワーク内の特定ノード12までの経路を往復するのにかかる伝搬時間を計測する計測部28と、計測部28で計測した計測用パケット32、34の伝搬時間の間の相関関係から計測用パケットの送出速度と経路の往復での利用可能帯域幅の大小関係を推定する推定部30とを備える。

【0025】更に本発明のネットワーク通信性能測定装置は、初期設定した転送速度X(bps)を二分法、はさみうち法、単調増加法又は単調減少法により変化させながら、送出部16、受信部18、計測部28及び推定部30の処理を実行してネットワーク経路の利用可能帯域幅が転送速度X(bps)を超えているかどうかを調べることにより、経路の利用可能帯域幅を推定する。

【0026】本発明のネットワーク通信性能測定装置は、更に、送出部16、受信部18、測定部28及び推定部30の処理の実行により、ネットワーク経路の第1利用可能帯域幅B1を推定する第1推定部と、送出部16、受信部18、測定部28及び推定部30の処理の実行により、往路と復路で異なる大きさのバケットが流れるようにしてネットワーク経路の第2利用可能帯域幅B2を推定する第2推定部と、第1及び第2推定部で推定した第1及び第2利用可能帯域幅B1、B2を比較してネットワーク経路内のリンクの状態を判断し、ネットワーク経路の片方向での利用可能帯域を推定する第3推定部とを備える。

【0027】第3推定部は、ネットワークの経路内に半二重リンクが存在し、この半二重リンクがボトルネックになっているかどうかを判断し、

a) 経路内に半二重リンクが存在してボトルネックになっている、

b) 経路内に半二重リンクが存在しているがボトルネックになっていない、若しくは

c) 経路内に半二重リンクが存在しない、の何れかを判断した場合につき、半二重リンクの片方向での利用可能帯域を推定する。

【0028】例えば第3推定部は、計測用パケットのサイズP(bit)を4993(bit)以上として推定された第1利用可能帯域幅B1と第2利用可能帯域幅B2の比が実質的に

$$B1/B2 = (P + 4992) / 2P$$

であれば、ネットワークの経路内に半二重リンクが存在し、該半二重リンクがボトルネックになっていると判断して第1利用可能帯域幅B1の2倍の2B1が経路の片

方向での利用可能帯域幅であると判断する。また、 $B1/B2 \neq (P+4992)/2P$ であれば、ネットワークの経路内に半二重リンクが存在するがボトルネックになっていない、若しくはネットワークの経路内に半二重リンクは存在しないと判断して第1利用可能帯域幅B1が経路の片方向での利用可能帯域幅であると判断する。

【0029】これ以外のネットワーク通信性能測定装置の詳細は、方法の場合と基本的に同じになる。

【0030】本発明は、またネットワーク通信性能測定プログラムを格納したコンピュータ読取り可能な記録媒体を提供する。この記録媒体のネットワーク通信性能測定プログラムは、計測用パケットをネットワーク経路に等間隔に送出する送出部と、送出部で送出した計測用パケットを受信する受信部と、送出部により計測用パケットの送出を開始してから受信部により計測用パケットの受信を完了するまでの伝搬時間を計測する計測部と、計測部で計測した計測用パケットの伝搬時間の間の相関関係からネットワーク経路の利用可能帯域幅を推定する推定部とを備える。

【0031】これ以外のネットワーク通信性能測定プログラムを格納したコンピュータ読取り可能な記録媒体の変形及び詳細は、方法及び装置構成の場合と同じになる。

【0032】

【発明の実施の形態】図2は、本発明の第1実施形態を示した説明図である。図2において、IPネットワーク（インターネット・プロトコル・ネットワーク）を介してデータを送受信する場合、経路14の終端にそれぞれ通信装置10、12があり、通信装置10、12の間には複数のルータ、例えばルータ12-1、12-2、12-3がある。

【0033】本発明のネットワーク性能測定装置は、通信装置10と通信装置12の間の経路14を計測対象経路とした場合、通信装置10に設けられた計測用パケット送信部16、通信装置12に設けられた計測用パケット受信部18、更に通信装置10、12と通信可能なネットワーク上の任意の場所に置かれた通信装置20に設けられた性能判定部22で構成される。この通信装置20の性能判定部22は、計測用パケット送信部16を設けた通信装置10、または計測用パケット受信部18を設けた通信装置12に置くことも可能である。

【0034】図3は、図2の第1実施形態における本発明のネットワーク性能測定装置の機能ブロック図である。本発明のネットワーク性能測定装置は、計測用パケット送信部16、計測用パケット受信部18及び性能判定部22で構成される。性能判定部22にはデータ収集部26、伝搬時間計測部28及び線路性能推定部30を設けている。

【0035】計測用パケット送信部16は、計測用パ

ケット受信部18に向けて等間隔に計測用パケット24を送信する。このとき計測用パケット送信部16は、計測用パケット24を送出した時刻*s*(*i*)を記録しておく。ここで、*i*はパケットシーケンシャル番号で、例えば*i*=1, 2, ... *n*となる。計測用パケット受信部18は計測用パケット送信部16から送られてきた計測用パケット24の受信が完了した時刻*r*(*i*)を記録する。

【0036】性能判定部22に設けられたデータ収集部26は、計測用パケット送信部16から計測用パケットの送出が開始された時刻*s*(*i*)と、計測用パケット受信部18で計測用パケットの受信が完了した時刻*r*(*i*)のデータを、1回の計測で送出された*n*個の計測用パケットについて収集する。

【0037】伝搬時間計測部28は、データ収集部26が収集したデータから計測用パケット24が計測用パケット送信部16から計測用パケット受信部18まで到達するのにかかったパケット伝搬時間*T*(*i*)を算出する。

【0038】線路性能推定部30は、伝搬時間計測部28で得られたパケット伝搬時間*T*(*i*)のデータを基に、計測用パケット送信部16から計測用パケットを送出したときの送出速度が経路の利用可能帯域を超えているかどうかを判断する。

【0039】図4は、図3の機能ブロックに対応した本発明によるネットワーク性能測定処理方法による処理手順のフローチャートである。まずステップS1の送信過程で、計測用パケット送信部16より計測対象とする経路に等間隔で複数の計測用パケット24を送信する。

【0040】この計測用パケットの送信に対応して、ステップS2の受信過程で計測用パケット受信部18が送出された計測用パケットを受信する。このときステップS1の送信過程にあっては、計測用パケットを送信するごとに送信開始の時刻*s*(*i*)を記録し、またステップS2の計測用パケット受信過程にあっては、計測用パケットの受信が完了した時刻*r*(*i*)を記録しておく。

【0041】ステップS3の伝搬時間計測過程にあっては、ステップS1、S2で求められた計測用パケットの送信時刻*s*(*i*)とその計測用パケットの受信完了時刻*r*(*i*)から、計測対象経路におけるパケットの伝搬時間*T*(*i*)を各パケットごとに求める。

【0042】尚、計測用パケット受信過程及び伝搬時間計測過程は、計測用パケット送信過程による複数の計測用パケットの送信中に同時に処理が行われる。

【0043】続いてステップS4の線路性能推定過程において、ステップS3の伝搬時間計測過程で求めた複数の計測用パケットの伝搬時間のデータに基づき、ステップS1で計測用パケット送信過程で送信した送信速度が計測対象経路の利用可能帯域幅を超えているかどうかを判断する。

【0044】次に図3の第1実施形態における計測用パケット送信部16と計測用パケット受信部18における

計測用パケットの送受信方法と、線路性能推定部30における計測用パケット送信部16から送出する計測用パケットの速度と計測対象経路の利用可能帯域幅との大小関係の推定方法を説明する。

【0045】まず計測用パケットの送受信方法を説明する。いま計測対象経路のボトルネックリンク速度 $\mu$ (bps)が既知の値であったとする。このボトルネックリンク速度 $\mu$ (bps)は、経路に他のトラフィックが全く流れていないときの利用可能帯域幅とする。

【0046】計測用パケット送信部16は、計測用パケット受信部18に対し一定間隔 $\delta$ (sec)で $n$ 個の計測用パケット24を送信する。この送信間隔 $\delta$ (sec)とは、「 $n$ 番目の計測用パケットの送出開始時刻と $n+1$ 番目の計測用パケットの送出開始時刻の差」である。

【0047】計測用パケット24にはUDPパケット(ユーザ・ダイアグラム・プロトコルパケット)を用いる。このとき計測用パケット送信部16はUDPパケットに宛先アドレスとして計測用パケット受信部18を指定すると、計測用パケット送信部16から計測用パケット受信部18に至る経路の内、通常、ネットワーク内のルータが決定する経路が計測対象経路となる。

【0048】計測用パケット送信部16で計測用パケット24を出力する際には、それぞれの計測用パケット24にシーケンスナンバー $i$ ( $1 \leq i \leq n$ )を付ける。また計測用パケットのサイズを $P$ (bit)とする。そして、計測用パケット送信部16は各計測用パケットを送出することに送出開始時刻 $s(i)$ を記録しておく。

【0049】計測用パケット受信部18は、計測用パケット送信部16から送られてくる計測用パケット24を受信するためポートを開いておく。この状態で計測用パケット受信部18は各計測用パケット24を受信したら、その受信完了時刻 $r(i)$ を記録する。

【0050】計測用パケット送信部16と計測用パケット受信部18は、計測用パケット24の送出及び受信を行うごとに、そのときのパケットシーケンスナンバー $i$ に対応した送出開始時刻 $s(i)$ と、受信完了時刻 $r(i)$ をデータ収集部26に送る。このデータ収集部26に対する時刻データの送出は、 $n$ 個の計測用パケット24の伝送が完了した後一括して行うようにしてもよい。

【0051】データ収集部26は、収集したデータを伝搬時間計測部28に送る。伝搬時間計測部28は、それぞれの計測用パケットが経路を通過するのにかかったパケット伝搬時間 $T(i)$ を
$$\Delta T(i) = T(i+1) - T(i)$$
で計算する。

【0052】次に線路性能推定部30により計測用パケットの送出速度と計測対象経路の利用可能帯域幅との大小関係を推定する方法を説明する。線路性能推定部30は、伝搬時間計測部28で求めた計測用パケットの伝搬時間 $T(i)$ と、計測用パケット送信部16が計測用パケ

ットを送出したときの送出間隔 $\delta$ (sec)と、計測対象経路のボトルネックリンク速度 $\mu$ (bps)及び計測用パケットのサイズ $P$ (bit)から、経路の利用可能帯域幅と計測用パケットの送出速度の大小関係を推定する。

【0053】この大小関係の推定方法は次のようになる。計測用パケットの送出速度 $P/\delta$ (bps)に他のトラフィックの流量 $I$ (bps)を加えた値がボトルネックリンク速度 $\mu$ (bps)を超えていないとき、即ち $(P/\delta + I) < \mu$

のとき、ネットワークのボトルネックとなるルータのキュー内に蓄積されている計測用パケットは少量である場合が多く、そのため計測用パケットのキュー内での待ち時間も少ない。

【0054】このとき複数この計測用パケットがキュー内に連続的に挿入されることは稀である。計測用パケットの伝搬時間は、それがルータのキューに挿入されたときのキュー内のパケット数によって変化するが、計測用パケットがルータのキューに同時刻に1個以下しか存在しなければ、それぞれの計測用パケットの伝搬時間の挙動は独立であり、ランダムな振る舞いをする。

【0055】この挙動は図5で見ることができる。図5は経路の利用可能帯域幅に対し十分遅い速度で計測用パケットを送出し、それぞれの計測用パケットの伝搬時間 $T(i)$ を計測し、横軸に伝搬時間 $T(i)$ を、縦軸に次の計測用パケットの伝搬時間 $T(i+1)$ をとってプロットしたグラフである。

【0056】このとき分布は直線 $y=x$ に対し線対称に分布していることが分かる。このことは、パケット伝搬時間 $T(i)$ の挙動がランダムであり、それぞれのパケット伝搬時間 $T(i)$ が独立な挙動をしていることを示している。

【0057】これに対し計測用パケットの送出速度 $P/\delta$ (bps)に他のトラフィックの流量 $I$ (bps)を加えた値がボトルネックリンク速度 $\mu$ (bps)を超えているとき、即ち

$$(P/\delta + I) > \mu$$

のとき、ルータのキューに蓄積されるパケットの量が増加する。また

$$(P/\delta + I) > \mu$$

で且つリンクがボトルネックの場合は、ルータがリンクに対してパケットを出力しようとした際にコリジョン(衝突)が起こる。コリジョンとはネットワークが使用中のためにパケットが出力できない現象であり、コリジョンが発生するとパケットはランダムに決められる短時間の間、キューで待機した後、再び転送が試みられる。

【0058】このため、コリジョンが発生すると各パケットについてルータのキュー内での待ち時間が増加する。よって、ルータがボトルネックであっても、リンクがボトルネックであっても、ルータのキュー内での待ち時間が増加する。ルータのキュー内での待ち時間が増加す

るとき、計測用パケットの伝搬時間はランダムな挙動を示さず、次の現象1、2が現れることが多くなる。

【0059】現象1：i番目の計測用パケットがボトルネックとなるルータのQに挿入されたときに、キュー内のパケット量が多かったため、i番目の計測用パケットが処理されてQから出力される前に次の(i+1)番目の計測用パケットがQに入ってくる。そして、i番目とi+1番目の計測用パケットがQから連続的に出力される。

【0060】現象2：2つの計測用パケットの間に多くのトラフィックが挿入され、i番目のパケットの伝搬時間に比べ、i+1番目のパケットの伝搬時間が著しく増加する。

【0061】現象1の場合には、i番目とi+1番目のパケットの伝搬時間の差 $\Delta T(i)$ を

$$\Delta T(i) = T(i+1) - T(i)$$

とし、サイズP(bit)の計測用パケットがボトルネックとなるルータで処理するのにかかる時間を $(P/\mu)$ とすると、

$$\begin{aligned} \Delta T(i) &= T(i+1) - T(i) \\ &= (r(i+1) - s(i+1)) - (r(i) - s(i)) \\ &= (r(i+1) - r(i)) - (s(i+1) - s(i)) \\ &= P/\mu - \delta \end{aligned}$$

となり、計測用パケットの伝搬時間の間に相関関係が現れる。

【0062】また、現象(ii)の場合、

$$\Delta T(i+1) \geq P/\mu - \delta$$

は常に成立するので、i番目とi+1番目の計測用パケットの間に多くのトラフィックが挿入され、

$$\Delta T(i) > -(P/\mu - \delta)$$

となったときには

$$\Delta T(i+1) - \Delta T(i) > 0$$

となる。また

$$\Delta T(i+1) = T(i+2) - T(i+1)$$

により

$$T(i+2) > T(i)$$

となる。

【0063】このことから

$$\Delta T(i) > -(P/\mu - \delta)$$

となったときには、i+1番目とi+2番目のパケットの間に他のトラフィックが全く挿入されていなくても

$$T(i+2) > T(i)$$

となる。よって、このときも計測用パケットの伝搬時間の間に相関関係が現れる。

【0064】計測用パケットの送出速度 $(P/\delta)$ が利用可能帯域幅に対し十分速い場合のi番目とi+1番目の伝搬時間 $T(i)$ と $T(i+1)$ の分布を図6に示す。

この図6の分布は、図5の計測用パケット送出速度が線路の利用可能帯域幅に対し十分に遅い場合と異なり、直線 $y = x$ に対し線対称とはなっておらず、プロットした

点は

$$y = x + (P/\mu - \delta)$$

の直線上に多く分布していることが分かる。また

$$y > x - (P/\mu - \delta)$$

の領域32にはプロットした点は存在するが

$$y < x + (P/\mu - \delta)$$

の領域34にはプロットした点は全く存在しないことから、点の分布は $y = x$ に対し非対称になっていることが分かる。

【0065】このように計測用パケットの送出速度 $P/\delta$ (bps)が経路の利用可能帯域幅 $(\mu - 1)$ (bps)を超えると、図6のように計測用パケットの伝搬時間の間に相関関係が現れる。そこで本発明の線路性能推定方法にあっては、計測用パケット伝搬時間の間に図6のような相関関係が現れているかどうかを調査することにより、計測用パケットの送出速度 $P/\delta$ (bps)と経路の利用可能帯域幅 $(\mu - 1)$ (bps)の大小関係を推定する。

【0066】この大小関係の推定のため、次のパラメータを用いる。

【0067】

【数1】

$$N(i) = \begin{cases} 1 & ((P/\mu - \delta + \alpha) < \Delta T(i) < -(P/\mu - \delta)) \\ 0 & (\text{otherwise}) \end{cases}$$

$$Q = \frac{\sum N(i)}{n-1}$$

【0068】但し、 $\Delta T(i) = T(i+1) - T(i)$ 、 $\alpha$ は直線 $y = x + (P/\mu - \delta)$ 上の点を除外するために設けた正の定数であり、0.001~0.0000001程度の値をとる。ここでパラメータ $N(i)$ は図7のように、i番目とi+1番目の隣合う2つの計測用パケットの伝搬時間 $T(i)$ 、 $T(i+1)$ でプロットした点が斜線部分40に存在するとき $N(i) = 1$ となり、それ以外では $N(i) = 0$ になる。

【0069】つまりパラメータ $N(i)$ は、計測用パケットが経路の利用可能帯域幅に対し送出速度が十分に遅くランダムな挙動を示していると考えられるときに $N(i) = 1$ となる。また、伝搬時間の差 $\Delta T(i)$ が大きくなったとき、若しくは計測用パケットがボトルネックのキューに連続的にキューイングされたときにはパラメータ $N(i)$ は0となる。更に(1)式におけるパラメータ $Q$ は、パラメータ $N(i) = 1$ となるパケット伝搬時間の差 $\Delta T(i)$ の割合である。

【0070】よって、パラメータ $N(i) = 1$ となるパケット伝搬時間の差 $\Delta T(i)$ の割合 $Q$ が小さい場合、計測用パケットはキューイングによる影響を受け、帯域が制限されている。即ち、計測用パケットの送出速度 $P/\delta$ は経路の利用可能帯域幅 $(\mu - 1)$ (bps)を超えていると推測できる。

【0071】このパラメータ $Q$ を用いた経路の利用可能

帯域幅の推定は、パラメータQが閾値R例えば $R=0.8$ 程度を超えているかどうかを調査し、

$Q < R$

であれば計測用パケットの送出速度 $P/\delta$ は経路の利用可能帯域幅 $(\mu-1)$ (bps)を超えている。即ち $P/\delta > \mu-1$

となる。つまり、計測用パケットの送出速度 $P/\delta$ は利用可能帯域幅 $(\mu-1)$ (bps)を超えていると推定する。

【0072】図8は、計測用パケット送出速度Xに対する前記(1)式のパラメータQの関係である。図8にあっては、10(Mbps)の半二重リンクを持つ経路に対し、5(Mbps)の負荷をかけ、経路を往復する計測用パケットを送出速度を変えながら送信したときの計測用パケット送出速度X(Mbps)と利用可能帯域幅を検出するためのパラメータQの間の関係の計測結果である。

【0073】このとき半二重リンクの往復での利用可能帯域幅は、

$$(10-5)/2 = 2.5 \text{ (Mbps)}$$

となるが、図8のグラフから計測用パケット送出速度Xが2~3(Mbps)付近のときに利用可能帯域幅検出のためのパラメータQが急激に減少していることが分かる。

【0074】このように(1)式で求めたパラメータQと閾値Rを用いることにより、ネットワーク経路の片方向利用可能帯域幅が計測用パケットの送出速度X(bps)を超えているかどうかを調べることができる。この計測用パケットの送出速度X(bps)を2分法により変化させながら本発明のネットワーク性能測定方法で繰り返しネットワーク性能を調査することによってネットワークの利用可能帯域幅を推定でき、この2分法による推定は次のようになる。

【0075】①ループカウンタA=1とする。計測用パケットの送出速度X(bps)に所定の初期値を入れる。またループ数をZとする。

【0076】②計測用パケットをパケット出力速度X/P(pps)でサイズがP(bit)の計測用パケットを出力し、ネットワークの経路の利用可能帯域幅がこのときのパケット送出速度X(bps)を超えているかどうか調査する。

【0077】③経路の利用可能帯域幅が計測用パケットの送出速度X(bps)を超えているならば、更に計測用パケットの送出速度X(bps)を増加できることから、 $X = X + X/2^A$ とする。また、経路の利用可能帯域幅が計測用パケットの送出速度X(bps)を超えていなければ、 $X = X - X/2^A$ とする。

【0078】④ループカウンタAをA=A+1とする。ループカウンタAがループ回数Z未満であれば②に戻る。ループカウンタAがループ回数Z以上であれば処理

を終了し、このときの計測用パケットの送出速度X(bps)付近が経路の片方向利用可能帯域幅になる。この利用可能帯域幅X(bps)はパケット送出速度X/P(pps)で表わしてもよい。

【0079】図9は2分法による経路の利用可能帯域幅の推定処理のフローチャートである。

【0080】まずステップS1で初期設定を行う。初期設定の内容は、ループカウンタをA=1、転送速度初期設定X(bps)を例えば転送速度10(Mbps)のイーサネット(登録商標)であればX=10000000(bps)、ループ回数をZ=8回、計測用パケットがルータにキューイングされていると判断するためのパラメータQの判定に用いる閾値をR=0.8、1ループごとに出力する計測用パケットの数をn=11、計測用パケットのサイズP=12000(bit)とする。

【0081】続いてステップS2で単位時間当りの送出パケット数を示すパケット送出速度X/P(pps)で大きさP(bit)の計測用パケットをn=11個送出し、送出開始から受信完了までの伝搬時間T(1)、T(2)、...T(n)を計測する。

【0082】次にステップS3に進み、(1)式に従い、隣合う計測用パケットの伝搬時間の差 $\Delta T(i)$ を求め、パラメータN(i)、更にパラメータQを求める。次にステップS4で、ステップS3で求めたパラメータQが閾値R=0.8未満か否かチェックする。

【0083】パラメータQが閾値R以上であれば、計測用パケットの送出速度X(bps)は経路の利用可能帯域幅未満であり、送出速度X(bps)を増加できることから、ステップS5で2分法に従って計測用パケットの送出速度X(bps)を増加させる。

【0084】一方、ステップS4でパラメータQが閾値R未満であった場合には、計測用パケットの送出速度X(bps)は経路の利用可能帯域幅を超えており、ステップS6で2分法に従って計測用パケットの送出速度Xを下げる。

【0085】続いてステップS7でループカウンタAを1つカウントアップした後、ステップS8でループカウンタAの値がステップS1で設定したループ回数Z=8回未満か否かチェックし、8回未満であればステップS2に戻り、同じ処理を繰り返す。8回の計測用パケットの送出による処理が済むと、ステップS9に進み、そのとき求められている計測用パケットの送出速度X(bps)を経路の片方向利用可能帯域幅と推定する。

【0086】本発明による経路の利用可能帯域幅の推定は、はさみうち法を利用することもできる。はさみうち法は、関数f(X)についてf(a)=0となる値aを求めるための代数方程式の解法であり、次の手順をとる。

【0087】①変数X1、X2の初期値をf(X1)≤0、f(X2)>0となるように選択する。

【0088】②XY平面上の2つの点 $\{X1, f(X1)\}$ ,  $\{X2, f(X2)\}$ を、直線L1で結ぶ。

【0089】③X軸と直線L1との交点を $(X3, 0)$ とする。

【0090】④ $f(X1) \times f(X2) < 0$ なので、 $f(X3)$ は $f(X1)$ と $f(X2)$ のどちらか一方との符号が等しい。 $f(X3) \times f(X1) > 0$ のとき、X1にX3を代入し、 $f(X3) \times f(X2) < 0$ のときX2にX3を代入し、②以降の作業を繰り返す。これによって、X1とX2は次第に値aに収束する。

【0091】図10は、はさみうち法を使用して利用可能帯域幅を求める性能判定処理のフローチャートである。

【0092】まずステップS1で初期設定を行う。初期設定の内容は、図9に示した2分法のパラメータに加え、はさみうち法固有のパラメータとして $X1 = 0$ ,  $Y1 = 0.5$ とし、X2に計測レンジの最大値(bps)を入れる。計測レンジの最大値は、計測対象経路について利用可能帯域幅はこの値より下であるということが分かっている値である。例えば転送速度10(Mbps)のイーサネットであれば、 $X2 = 100000000$ とする。

【0093】またループ回数Zを例えば $Z = 8$ とする。更に計測用パケットがルータにキューイングされていると判断するための閾値Rを $R = 0.8$ 程度とする。

【0094】次にステップS2でパケット送出速度 $X2/P$ (pps)でサイズがP(bit)の計測用パケット $n = 1$ 個を送出し、各計測用パケットについて伝搬時間 $T(1)$ ,  $T(2)$ ,  $\dots$ ,  $T(n)$ を計測する。

【0095】次にステップS3で(3)式に基づき、隣接する計測用パケットの伝搬時間の差 $\Delta T(i)$ からパラメータ $N(i)$ を求め、最終的にパラメータQを求める。このパラメータQが計測用パケットの送出速度X2に対応したY2となる。

【0096】続いてステップS4でXY平面上の座標 $(X1, Y1)$ と $(X2, Y2)$ を通る直線をY軸方向に $-R$ だけ平行移動した直線がX軸と交わる点を $(X3, 0)$ とすると、 $X3 = X1 - (X1 - X2)(Y1 - R) / (Y1 - Y2)$ となる。

次にステップS5で、新たに求めたパケット送出速度 $X3/P$ (pps)で大きさP(bit)の計測用パケットを $N = 11$ 個送出し、各伝搬時間 $T(1)$ ,  $T(2)$ ,  $\dots$ ,  $T(n)$ を計測する。

【0097】続いてステップS6で、(1)式に従って隣接する計測用パケットの伝搬時間の差 $\Delta T(i)$ とパラメータ $N(i)$ 及びパラメータQを求め、この結果、このときのパラメータQがパケット送出速度X3に対応したY3となる。次にステップS7で

$(Y1 - R)(Y3 - R) < 0$ ならば、ステップS9で $X2 = X3$ ,  $Y2 = Y3$ とし、

ステップS7が成立しなければ、ステップS8で $X1 = X3$ ,  $Y1 = Y3$ とする。

【0098】次にステップS10でループカウンタAを1つカウントアップした後、ステップS11でループカウンタAがループ回数 $Z = 8$ に達するまで、ステップS4からの処理を繰り返す。そして $Z = 8$ 回のループ処理の結果、ステップS12で、最終的に得られたそのときの計測用パケットの送出速度X3(bps)を経路の利用可能帯域幅とする。

10 【0099】図11は、図10のはさみうち法による経路の利用可能帯域幅の推定処理を、図8に示した計測用パケット送出速度XとパラメータQの特性について具体的に表わしている。即ち、はさみうち法により $Q = R$ (但し、 $R = 0.8$ とする)となるときの計測用パケットの送出速度X(bps)を求める手順は次のようになる。

【0100】①計測対象経路の利用可能帯域幅が例えば8.0(Mbps)以下であることが分かっているとすると、このときまず $X2 = 8.0$ (Mbps)で計測用パケットを送出してパラメータQ1を求める。

20 【0101】②点A(0, 1)と点B(8, 0)を通る直線L1を引き、それと直線 $y = R$ との交点C(X1, R)のX座標値X1を求める。この送出速度X1(Mbps)で計測用パケットを送出してパラメータQ2を求め、これにより点D(X1, Q2)が求まる。

【0102】③ $(1 - R)(Q2 - R) > 0$ ,  $(Q1 - R) > 0$ ,  $(Q1 - R)(Q2 - R) < 0$ なので、 $(Q2 - R)$ と正負の符号が異なるのは $(Q1 - R)$ である。これによって、点D(X1, Q2)と点B(8, Q1)を結ぶ直線L2と $y = R$ との交点E(X2, R)を

30 求める。  
【0103】④送出速度X2(Mbps)で計測用パケットを送出してパラメータQ3を求め、これによって点F(X2, Q3)が求まる。

【0104】⑤ $(Q2 - R)(Q3 - R) < 0$ ,  $(Q1 - R)(Q3 - R) > 0$ なので、 $(Q3 - R)$ と正負の符号が異なるのは $(Q2 - R)$ である。これによって、点F(X2, Q3)と点A(X1, Q2)を結ぶ直線(図示せず)と $y = R$ との交点(X3, R)を求める。以下、この作業を繰り返すことにより、計測用パケット送出速度は $Q = R$ となるような送出速度へ収束する。

【0105】図12は、計測用パケットの送出速度を単調増加で変化させて利用可能帯域幅を求めるためのフローチャートである。図12において、まずステップS1で初期設定を行う。この初期設定にあっては、計測用パケットの送出速度X(bps)に転送速度初期値として、例えば下限値となる1000(bps)を入れる。また計測用パケットの出力速度の増分 $\Delta X$ を例えば1000(bps)とする。

50 【0106】更に、パケットがルータにキューイングされていると判断するための閾値Rは0.8、1ループご

とに出力する計測用パケットの数 $n$ は11個、計測用パケットのサイズ $P$ は12000(bit)とする。

【0107】次にステップS2でパケット送出速度 $X/P$ (pps)で大きさ $P$ (bit)の計測用パケットを $n=11$ 個送出し、各計測用パケットの伝搬時間 $T(1)$ 、 $T(2)$ 、 $\dots$ 、 $T(n)$ を計測する。

【0108】次にステップS3で、(1)式に従って隣接する計測用パケットの伝搬時間の差 $\Delta T(i)$ 、パラメータ $N(i)$ 及び $Q$ を算出する。次にステップS4で、パラメータ $Q$ が閾値 $R$ 未満であれば、計測用パケットの送出速度 $X$ (bps)は経路の利用可能帯域幅未満であることから、ステップS5で計測用パケットの送出速度 $X$ (bps)を $\Delta X$ だけ増加し、ステップS2からの処理を繰り返す。

【0109】このような計測用パケットの送出速度 $X$ の増分 $\Delta X$ による繰り返して、ステップS4においてパラメータ $Q$ が閾値 $R$ を超えると、そのときの計測用パケットの送出速度 $X$ (bps)は経路の利用可能帯域幅を超えたことから、ステップS6に進み、そのときの計測用パケットの送出速度 $X$ (bps)を経路の利用可能帯域幅とする。

【0110】図13は、計測用パケットの送出速度を単調減少で変化させて経路の利用可能帯域幅を求めるためのフローチャートである。図13にあっては、ステップS1の初期設定において計測用パケットの出力速度 $X$ (bps)の初期値として計測レンジの最大値例えば10000000(bps)を設定する。また単調減少のために使用する出力速度増分 $\Delta X$ として $\Delta X=-1000$ を設定する。それ以外は図12の単調増加の場合と同じである。

【0111】次にステップS2で、初期設定した計測用パケットの送出速度 $X$ (bps)に基づくパケット送出速度 $X/P$ (pps)で大きさ $P$ (bit)の計測用パケットを $n=11$ 個送出し、各計測用パケットの伝搬時間 $T(1)$ 、 $T(2)$ 、 $\dots$ 、 $T(n)$ を計測する。

【0112】続いてステップS3で、(1)式に基づいて隣接する計測用パケットの伝搬時間の差 $\Delta T(i)$ 、パラメータ $N(i)$ 及びパラメータ $Q$ を求める。

【0113】続いてステップS4でパラメータ $Q$ が閾値 $R$ 未満か否かチェックする。この場合は単調減少であることから、最初のパラメータ $Q$ は閾値 $R$ を超えており、即ちそのときの計測用パケット送出速度 $X$ (bps)は経路の利用可能帯域幅を超えていることから、ステップS6で増分 $\Delta X=-1000$ (bps)だけ送出速度 $X$ を減少させ、ステップS2に戻り、同様な処理を繰り返す。

【0114】このような計測用パケットの送出速度 $X$ (bps)の単調減少により、ステップS4においてパラメータ $Q$ が閾値 $R$ 未満になると、それまでの経路の利用可能帯域幅を超えていた送出速度 $X$ (bps)が、このとき利用可能帯域幅に入ることから、ステップS5でこのときの計測用パケットの送出速度 $X$ (bps)を経路の利用可能帯

域幅とする。

【0115】図14は、本発明によるネットワーク通信性能測定装置の第2実施形態であり、ネットワーク内の特定のルータを通る経路を指定して経路の利用可能帯域幅を測定するようにしたことを特徴とする。

【0116】図14において、ネットワークに対し設けた通信装置10に本発明による計測用パケット送信部16を設け、通信装置12に計測用パケット受信部22を設けた場合、ルータを指定しない場合には、例えばルータ12-1を通る経路がネットワークにより決められる。

【0117】これに対し本発明の第2実施形態にあっては、特定のルータ12-3を通る経路をユーザが指定できる。このように計測用パケット送信部16からネットワーク内のルータ12-3を通して計測用パケット受信部22に到達する経路を計測対象経路として指定したい場合には、例えばIPパケットのソースルーティングオプションを用いる。

【0118】ソースルーティングオプションとしてIPヘッダのヘッダに特定のルータ例えばルータ12-3のアドレスを記述して計測用パケット送信部16から計測用パケットを送信すると、送信された計測用パケットは指定されたアドレスのルータ12-3を通して計測用パケット受信部22に到達する。これによって計測用パケット送信部16からネットワーク内の特定のルータ12-3を通り計測用パケット受信部22に到達する経路が計測対象となる。ここでソースルーティングオプションによって設定できるルータの数の上限は7である。

【0119】ネットワークの特定のルータを通る経路を指定する以外の点は、図2乃至図13に示した第1実施形態の場合と同じである。

【0120】図15は、本発明によるネットワーク通信性能測定装置の第3実施形態である。この第3実施形態にあっては、計測用パケット送信部16と計測用パケット受信部18、更に性能判定部22を、ネットワーク上の近い通信装置10、12に配置している。また計測用パケット送信部16、計測用パケット受信部18及び性能判定部22をネットワーク上の同じ通信装置上に配置してもよい。

【0121】この場合の計測対象経路14は、計測用パケット送信部16と計測用パケット受信部18を置いた地点が終端となる任意の経路となる。もちろん性能判定部22は、計測用パケット受信部18を配置した通信装置12のみならず、計測用パケット送信部16を配置した通信装置10及び計測用パケット受信部18を配置した通信装置12と通信可能なネットワーク上の任意の通信装置に置くことができる。

【0122】このように計測用パケット送信部16と計測用パケット受信部18がネットワーク上の同一場所もしくは近い場所に存在する場合、計測用パケット送信部

16は計測対象経路14の終端のノードとなる通信装置12-3で折り返し、計測用パケット受信部18に戻ってくるような往復経路を計測対象経路14として片側の利用可能帯域幅を推定する。

【0123】図15のように、計測用パケット送信部16と計測用パケット受信部18がネットワーク上の同一場所または近くに存在し、この場所からある特定のルータ（通信装置12-3）までの往復経路の性能を計測したい場合、計測用パケット送信部16は宛先アドレスをルータ12-3に指定した計測用パケットを送出する。

【0124】このための計測用パケットにはUDPパケット及びicmp echoパケットを用いることができる。UDPパケットを用いる場合は、計測用パケット送信部16はルータ12-3の7番ポートに対しUDPパケットを送出する。ルータ12-3の7番ポートはエコーポートと呼ばれ、このエコーポートに送られたパケットはそのまま送信元に送り返されるようになっている。

【0125】またルータ12-3がicmp echoパケットを受け取った場合も、送信元へ送り返される。icmp echoパケットを用いるときには、UNIX等で表示になっている「ping」を用いることができる。UDPパケット及びicmp echoパケットのいずれの場合にも、計測用パケット送信部16が送信したパケットはルータ12-3で送り返され、計測用パケット受信部18で受信される。

【0126】図16は、図15の第3実施形態の機能ブロック図である。この第3実施形態にあっては、第1実施形態と同様、ネットワーク通信性能測定装置は、計測用パケット送信部16、計測用パケット受信部18、性能判定部22に設けられたデータ収集部26、伝搬時間計測部28及び線路性能推定部30で構成される。

【0127】第1実施形態との相違は、計測用パケット送信部16からネットワークの計測対象経路の終端ノード46に対し計測用パケット32を送出し、計測用パケット34を計測用パケット受信部18に送り返すことによって往復経路の性能を計測する。

【0128】更に詳細に説明すると次のようになる。いま図15において計測用パケット送信部16をU、計測用パケット受信部18をV、ネットワーク上の終端ノードとなるルータ12-3をWとすると、U-W-Vという経路の利用可能帯域幅を計測することができる。

【0129】このU-W-Vという往復経路の利用可能帯域幅の計測を利用して、その経路の片方向での利用可能帯域幅つまりU-Vという経路の利用可能帯域幅を次の手法により計測する。

【0130】まず第1計測処理として、計測用パケット送信部16、計測用パケット受信部18及び性能判定部22により、サイズP(bit)のUDPパケットを計測用パケットとして使用し、経路U-W-Vの利用可能帯域

幅B1(bps)を推定する。ここで計測用パケットとして使用するUDPパケットは、ヘッダ込みで4993(bit)以上、データ部は4609(bit)以上である。

【0131】次に第2推定処理として、第1推定処理と同じサイズP(bit)のUDPパケットを計測用パケットとして使用し、このUDPパケットの生存時間TTL(Time-To Live)を計測対象経路14のホップ数と同じ数に設定し、ルータ12-3からの返りには「icmp time exceededエラー」が返ってくるように設定し、計測用パケット送信部16、計測用パケット受信部18及び性能判定部22によって経路U-W-Vの利用可能帯域幅B2(bps)を推定する。

【0132】ここで計測用パケットとして送出するUDPパケットのホップ数は、終端ノードとなるルータ12-3までの間に位置するルータ12-1、12-2の数に1を加えた数に設定する。即ち、ホップ数=2+1=3となる。

【0133】このホップ数をUDPパケットの生存時間TTLに設定すると、計測用パケット送信部16から送出する際にTTL=3であり、ルータ12-1~12-3を通過することに1ずつ減少され、ルータ12-3に達したときにTTL=0となることで、ルータ12-3が終端ノードとなって、「icmp time exceededエラー」としてエラーパケットを返す。

【0134】この「icmp time exceededエラー」パケットの大きさは、計測用パケット送信部16から送出した4993(bit)以上のUDPパケットよりサイズの小さいヘッダ込みで4992(bit)になる。更に計測対象経路14の片方向の利用可能帯域幅の真の値をBt(bps)とする。

【0135】このような第1推定処理及び第2推定処理について、次の手法により片方の経路U-Wの利用可能帯域幅を推定する。

【0136】まず第1推定処理における最終的な計測用パケットの送出間隔を $\delta 1$ (sec)とし、また第2推定処理における最終的な計測用パケットの送出間隔を $\delta 2$ (sec)とすると、

$$P/\delta 1 = B1$$

$$P/\delta 2 = B2$$

となる。

【0137】また計測対象経路14の中に含まれる半二重リンクがボトルネックであり、その片道経路U-Wでの利用可能帯域幅がBt(bps)の場合、往路にX(bps)のトラフィックを流したときには、復路には同時にBt-X(bps)のトラフィックを流すことが可能である。即ち、往路と復路に同時にパケットが流れたときのトラフィックの合計は両者の和で与えられ、これは真の利用可能帯域幅Bt(bps)となる。

【0138】したがって、第1推定処理及び第2推定処理において、半二重リンクについて



(往路を流れる計測用パケット量) + (復路を流れる計測用パケット量) = 利用可能帯域幅  
の関係を表わすと次のようになる。

$$【0139】 P/\delta 1 + P/\delta 1 = B t$$

$$P/\delta 2 + 4992/\delta 2 = B t$$

この式から

$$\delta 2/\delta 1 = B 1/B 2 = (P + 4992)/2 P$$

となる。よって、第1推定処理による計測結果B1と第2推定処理による計測結果B2の関係が

$$B 1/B 2 = (P + 4992)/2 P$$

のとき、計測対象経路14の中の半二重リンクがボトルネックとなっていると判断することができる。

【0140】このようにして計測対象経路14の中の半二重リンクがボトルネックになっていると判断されたならば、片側の経路U-Wの利用可能帯域幅Bt(bps)は往復経路U-W-Vの利用可能帯域幅B1(bps)の2倍となるので

$$B t = 2 B 1$$

であると推定できる。

【0141】また

$$B 1/B 2 = (P + 4992)/2 P$$

の条件以外の場合には、即ち計測対象経路14の中の半二重リンクはボトルネックになっていないかあるいは経路中に半二重リンクが存在しない場合には、片方向の経路U-Vの利用可能帯域幅Bt(bps)は往復経路U-W-Vの利用可能帯域幅B1(bps)と等しいので、

$$B t = B 1$$

であると推定できる。

【0142】図17は、図15の第3実施形態における往復経路を対象とした性能計測処理のフローチャートである。図17において、まずステップS1が第1推定過程であり、サイズP(bit)の計測用パケットを用いて往復経路U-W-Vの利用可能帯域幅B1(bps)を図3～図13に示したと同じ第1実施形態の手法により推定する。

【0143】次にステップS2が第2推定過程となり、サイズP(bit)の計測用パケットを対象計測経路の往路に送信し、復路は小さいサイズ4992(bit)のエラーパケットを返送して往復経路U-V-Wの利用可能帯域幅B2(bps)を推定する。

【0144】次のステップS3、S4、S5は第3推定過程となる。まずステップS3で第1推定過程と第2推定過程で求めた利用可能帯域幅B1、B2の比(B1/B2)が(P+4992)/Pに実質的に等しいか否かチェックする。もし等しければステップS4に進み、半二重リンクが経路中に存在し、ボトルネックになっていると判断し、この場合の片側利用可能帯域幅Bt(bps)を2B1(bps)と推定する。

【0145】ステップS3の条件が成立しない場合には、ステップS5に進み、経路中には半二重リンクが存

在しないかあるいは半二重リンクがボトルネックになっていないと判断し、この場合の片方向の利用可能帯域幅Bt(bps)をB1(bps)と推定する。

【0146】尚、上記の実施形態は、計測用パケットとしてUDPパケットやicmp echoパケットを使用する場合を例にとるものであったが、これ以外の適宜のパケットを計測用パケットに使用してもよい。また本発明は上記の実施形態に示した数値による限定は受けない。更に本発明は、その目的と利点を損なわない適宜の変形を含む。

【0147】

【発明の効果】以上説明してきたように本発明によれば、少数の計測用パケットを送受信することによって経路の利用可能帯域幅を十分な精度をもって正確に推定することができる。これによって多数の計測用パケットを送信してネットワークに負荷をかけることなく、短時間でネットワーク性能を推定することができる。例えばTCPの利用可能帯域計測ツール「Treno」では20秒間の計測に10000個以上のパケットを使用するケースもある。これに対し本発明にあっては、利用可能帯域幅の推定に時分法やはさみうち法を用いることで、例えば1回のループにつきパケットを20個送出し、8回のループで利用可能帯域幅を推定するとすれば、合計160個のパケットで計測が可能となり、ネットワークに負荷をかけることなく短時間でネットワーク性能を推定できる。

【0148】またTCPの利用可能帯域計測ツール「Treno」では、TCPの挙動をシミュレートするためにパケットの送受信を繰り返し、ウィンドウサイズを変化させるだけの時間が必要であり、少なくとも10秒～60秒くらいの計測時間が必要である。これに対し本発明によれば、利用可能帯域幅の推測に時分法やはさみうち法を用いれば、数秒のオーダーで高速な計測が実現できる。

【0149】更にまた本発明にあっては、複数個の計測用パケットについて隣接する計測用パケットの伝搬時間の間の相関関係を用いることにより、他のトラフィックによる外乱の影響の少ない計測結果を実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の原理説明図

【図2】本発明の第1実施形態の説明図

【図3】図2の第1実施形態の機能ブロック図

【図4】本発明によるネットワーク性能測定処理のフローチャート

【図5】他のトラフィックを含む計測用パケットの送出速度(P/δ+1)が経路のボトルネックリンク速度μより遅い場合の隣接するパケット伝搬時間の関係図

【図6】他のトラフィックを含む計測用パケットの送出速度(P/δ+1)が経路のボトルネックリンク速度μ

より速い場合の隣接するパケット伝搬時間の関係図

【図7】利用可能帯域幅推定のためのパラメータ $N(i)$ が1となる領域の説明図

【図8】10Mbpsの半分二重リンクをもつ往復経路で計測用パケットの送出速度を変化させて求めたパラメータ $Q$ の説明図

【図9】二分法を用いた本発明の利用可能帯域幅推定処理のフローチャート

【図10】はさみうち法を用いた本発明の利用可能帯域幅推定処理のフローチャート

【図11】はさみうち法による利用可能帯域幅推定処理の具体例を図8を例にとって示した説明図

【図12】単調増加法を用いた本発明の利用可能帯域幅推定処理のフローチャート

【図13】単調減少法を用いた本発明の利用可能帯域幅推定処理のフローチャート

【図14】特定のルータを通る経路を対象とする本発明\*

\*の第2実施形態の説明図

【図15】往復経路を対象とした本発明の第3実施形態の説明図

【図16】図15の第3実施形態の機能ブロック図

【図17】図16による往復経路の性能測定処理のフローチャート

【符号の説明】

10, 12, 20: 通信装置

14: 計測対象経路

16: 計測用パケット送信部

18: 計測用パケット受信部

22: 性能判定部

24: 計測用パケット (UDPパケット)

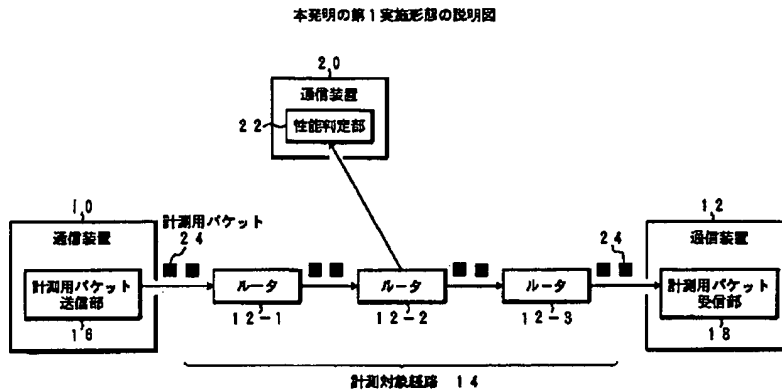
26: データ収集部

28: 伝搬時間計測部

30: 線路性能推定部

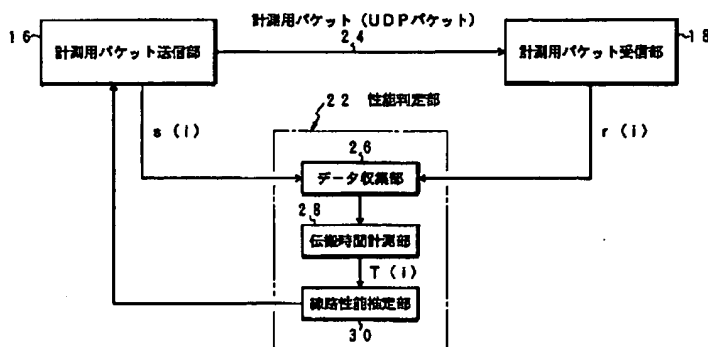
46: 終端ノード

【図2】



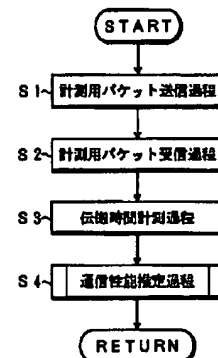
【図3】

図2の第1実施形態の機能ブロック図



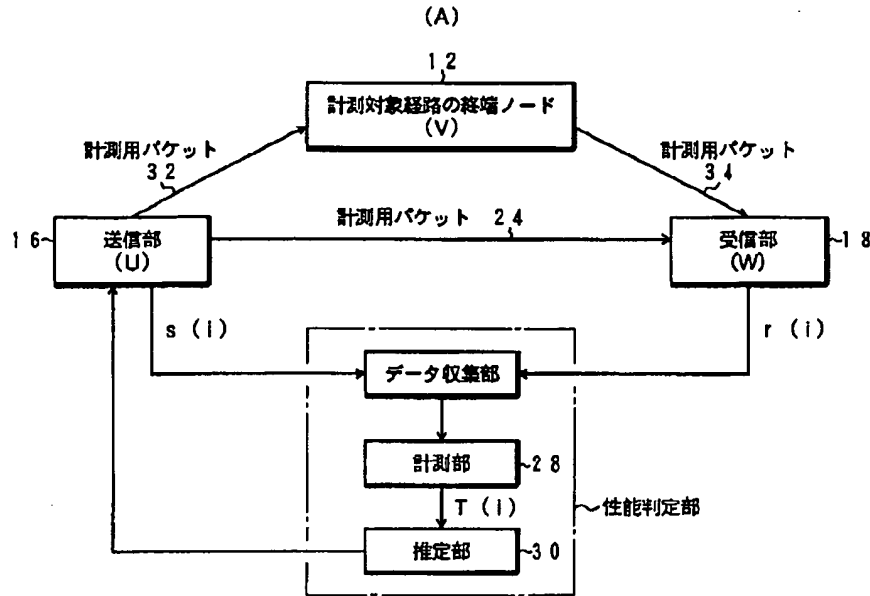
【図4】

本発明によるネットワーク性能測定処理のフローチャート

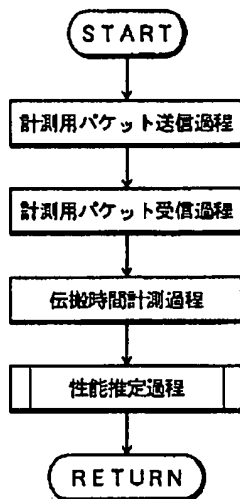


【図1】

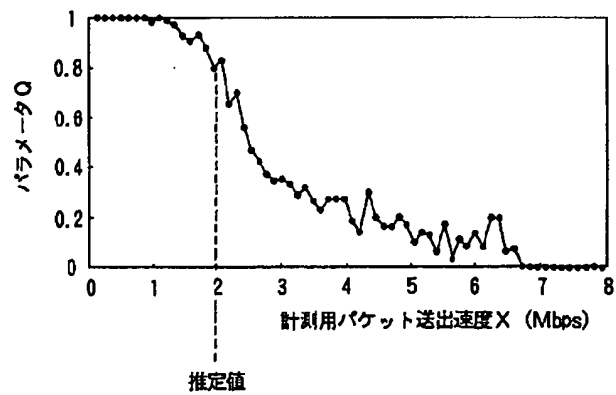
## 本発明の原理説明図



(B)

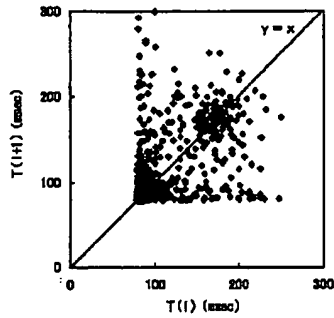


(C)



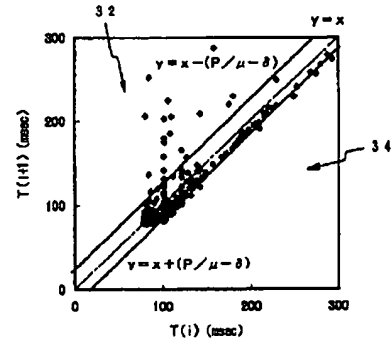
【図5】

他のトラフィックを含む計測用パケットの送出速度  $(P/\delta + 1)$  が経路のボトルネックリンク速度  $\mu$  より遅い場合の隣接するパケット伝搬時間の関係図



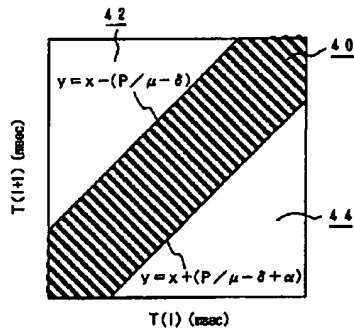
【図6】

他のトラフィックを含む計測用パケットの送出速度  $(P/\delta + 1)$  が経路のボトルネックリンク速度  $\mu$  より速い場合の隣接するパケット伝搬時間の関係図



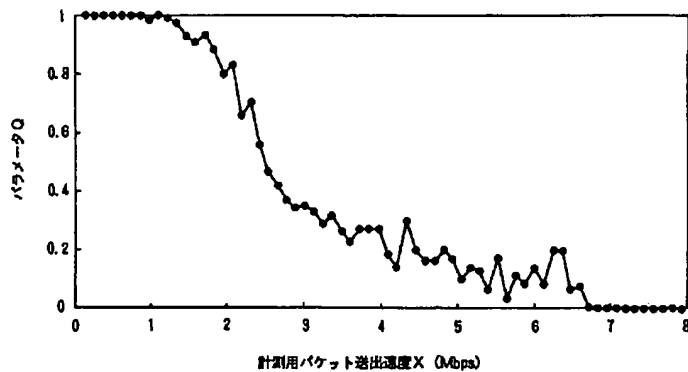
【図7】

利用可能帯域推定のためのパラメータ  $N(i)$  が1となる領域の説明図



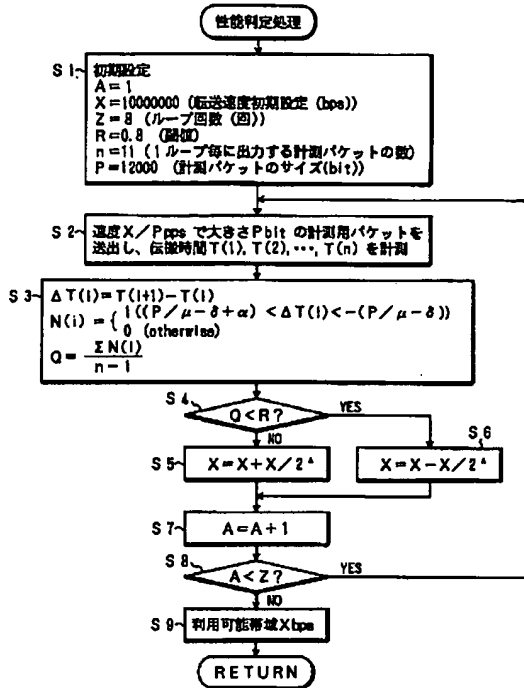
【図8】

10 Mbpsの半二重リンクをもつ往復経路で計測用パケットの送出速度を変化させて求めたパラメータ  $Q$  の説明図



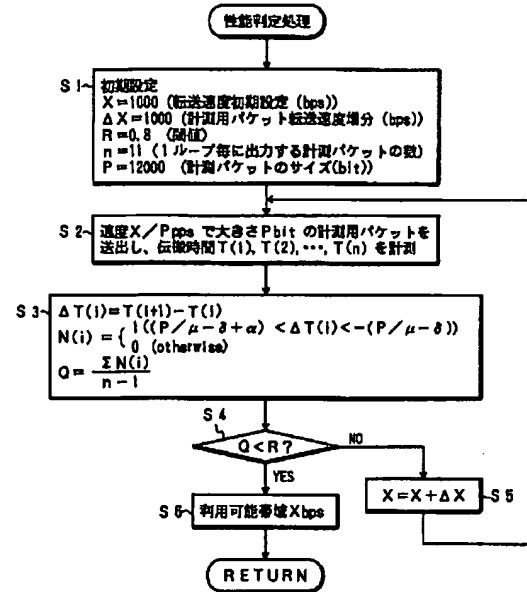
【図9】

二分法を用いた本発明の利用可能帯域推定処理のフローチャート



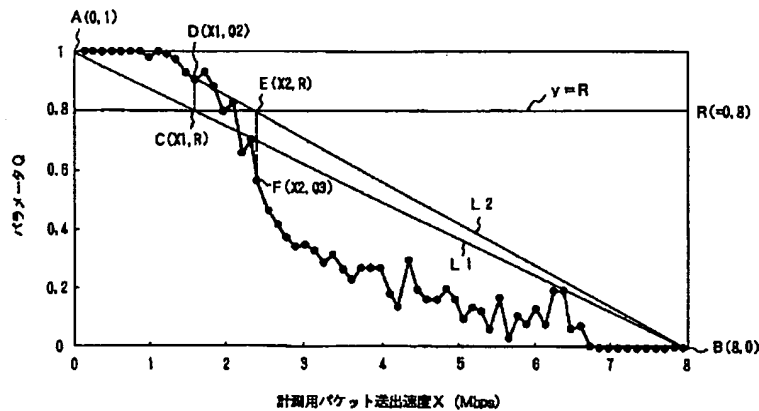
【図12】

単段増加法を用いた本発明の利用可能帯域推定処理のフローチャート



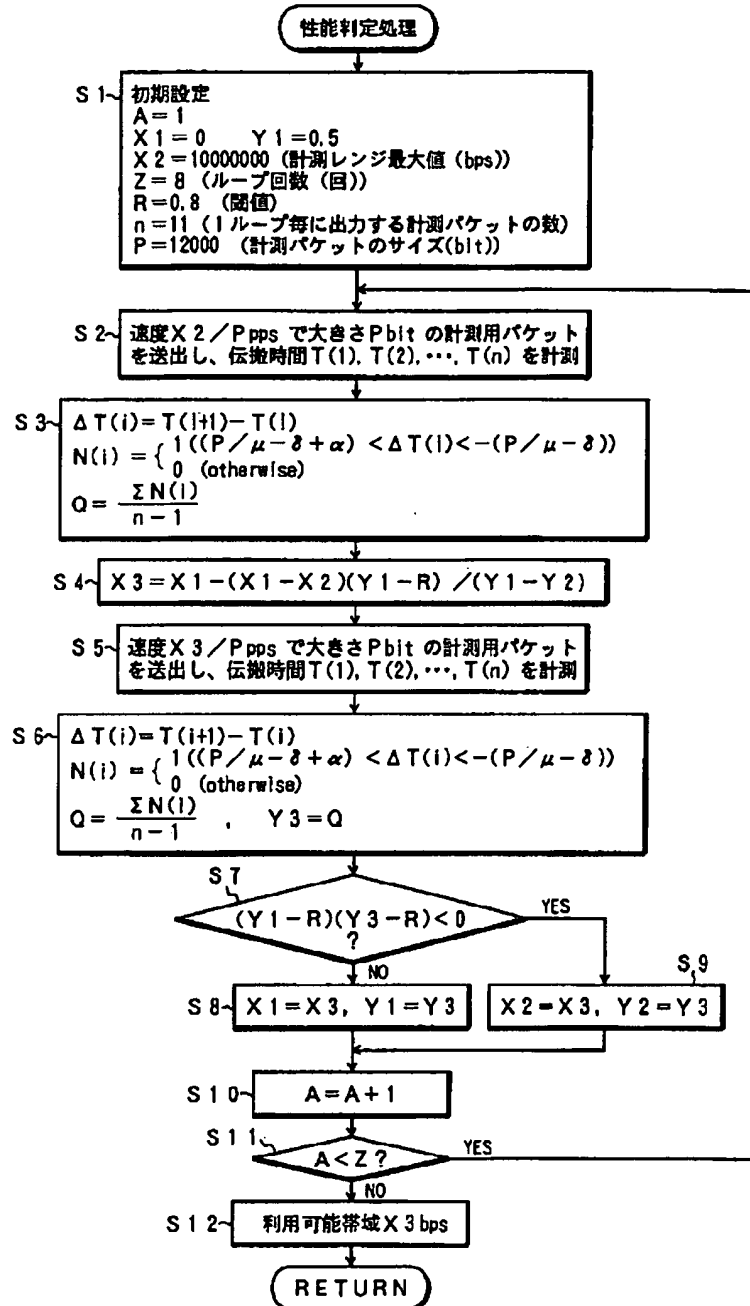
【図11】

はさみうち法による利用可能帯域推定処理の具体例を図8を例にとって示した説明図



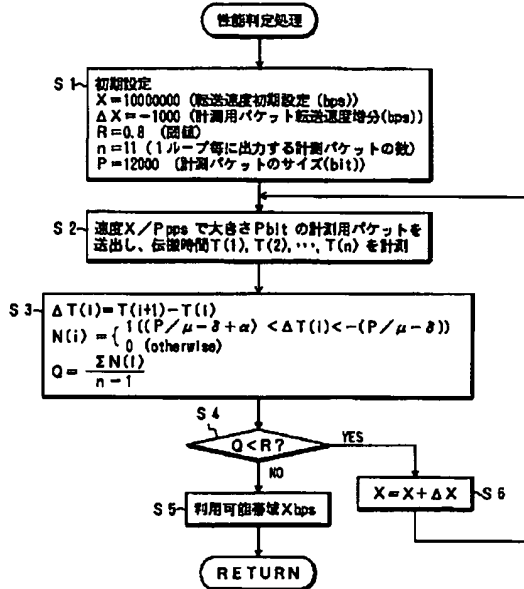
【図10】

はさみうち法を用いた本発明の利用可能帯域幅推定処理のフローチャート



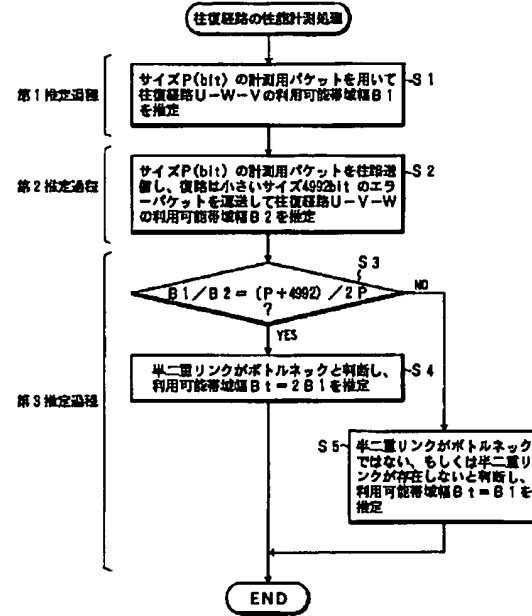
【図13】

単回減少法を用いた本発明の利用可能帯域推定処理のフローチャート



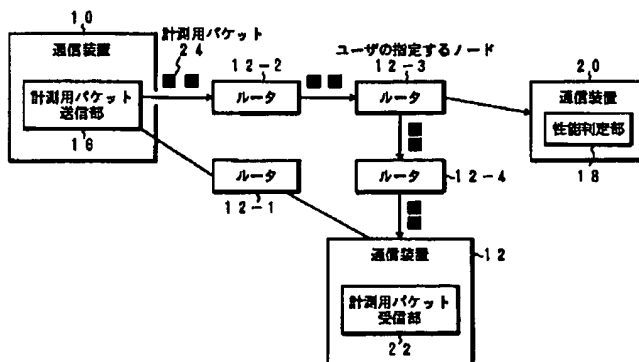
【図17】

図16による往復経路の性能測定処理のフローチャート



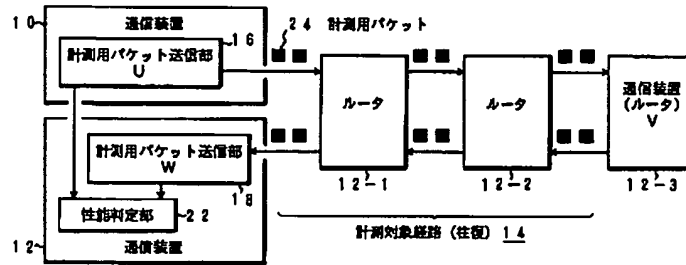
【図14】

特定のルータを通る経路を対象とする本発明の第2実施形態の説明図



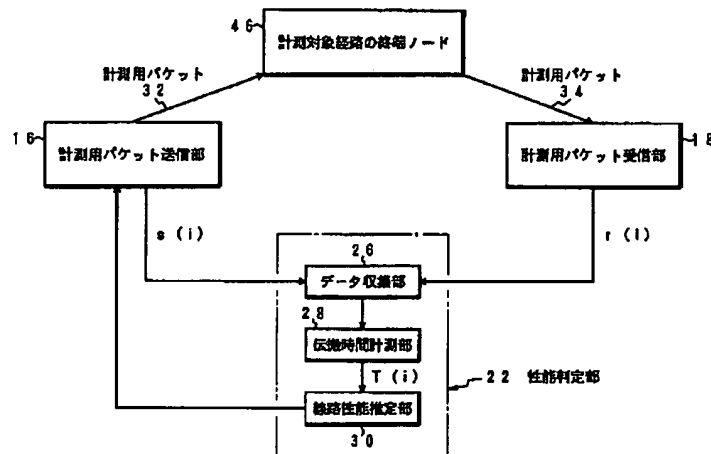
【図15】

往復経路を対象とした本発明の第3実施形態の説明図



【図16】

図15の第3実施形態の機能ブロック図



フロントページの続き

(51)Int.Cl.

H04M 3/36

識別記号

FI

H04L 13/00

テーマコード(参考)

315Z

(72)発明者 岡野 哲也

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番

1号 富士通株式会社内